

# СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Н. И. Кекиш, И. В. Дайняк

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
лаборатория Математического моделирования технических систем и информационных технологий  
ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь  
телефон: (+375 17) 293-88-30; e-mail: mmts@bsuir.by

Рассмотрен параллельный манипулятор с тремя степенями свободы. Представлена общая структура программного обеспечения для управления параллельным манипулятором и реализации требуемых пространственных движений. Описан формирователь команд, который обеспечивает подготовку исполнительной программы движения на языке контроллера системы управления.

Ключевые слова – параллельный манипулятор, программное обеспечение, формирователь команд управления.

## 1 СТРУКТУРА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Рассматриваемый параллельный манипулятор представляет собой трехкоординатную платформу с тремя степенями свободы. Платформа представляет собой прямоугольную площадку, расположенную на подвижном треугольном несущем каркасе, опирающемся в центре масс на телескопическую вертикальную опору с карданным соединением. Каждый угол треугольного каркаса соединен шарнирным соединением с вращающимся подвижным элементом, жестко связанным с двигателем.

При вращении любого из двигателей взаимное расположение подвижного элемента и шарнира изменяется, что приводит к развороту платформы в пространстве относительно точки опоры на карданном соединении, а также перемещению центра масс платформы вверх и вниз по координате  $Z$ .

Структурная схема механизма представлена на рис. 1., а кинематическая схема – на рис. 2.

Параллельный манипулятор состоит из подвижной треугольной платформы  $P(A_1, A_2, A_3)$  звеньев  $r_1, r_2$  и  $r_3$ , жестко связанных с вращающимися элементами двигателей  $O_1, O_2, O_3$ , которые, в свою очередь, посредством сферических шарниров и промежуточных шатунов  $l_1, l_2$  и  $l_3$  связаны с самой платформой.

В соответствии с кинематической схемой механизма (рис. 2) звенья  $r_1, r_2$  и  $r_3$  являются входными, их законы перемещения задаются непосредственно управляющими двигателями. Представленный манипулятор способен воспроизводить устойчивые перемещения платформы по

координате  $Z$ , а также поворотные движения вокруг осей  $X$  и  $Y$ .

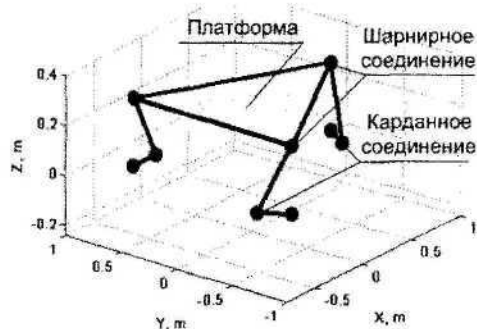


Рис. 1. Структурная схема трехкоординатной платформы

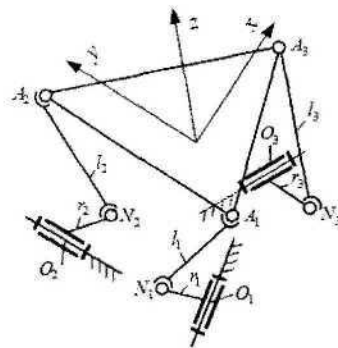


Рис. 2. Кинематическая схема параллельного механизма с тремя степенями свободы

Целью работы является разработка программного обеспечения, позволяющего формировать команды для реализации манипулятором требуемых пространственных движений.

## 2 ОБЩАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Общая структура программного обеспечения для управления платформой и формирования пространственных движений приведена на рис. 3.



Рис. 3. Структура программного обеспечения

Главной программой (верхним уровнем) является «Формирователь команд», который на основе задания требуемого положения платформы рассчитывает позицию подвижных элементов двигателей и синхронизирует их перемещения во времени. Результатом работы формирователя является последовательность команд контроллера в виде специального XML-файла, содержащего информацию о положениях платформы в установленное оператором время.

Программа «Плеер команд» представляет собой программу, которая считывает команды из сформированного XML-файла и взаимодействует по определенному протоколу через интерфейс RS232 с контроллером платформы.

Контроллер платформы представляет собой функциональный блок на базе программируемого контроллера FX3U-48 фирмы Mitsubishi, с установленным программным обеспечением. В отличие от жесткой системы управления, функционирование которой зависит только от электрического монтажа, работа программируемого контроллера определяется его программой, которая вводит (считывает) данные, обрабатывает их, а затем выводит результат обработки, например, формирует требуемые сигналы.

Программное обеспечение контроллера состоит из следующих модулей:

- модуль связи обеспечивает установление соединения через последовательный интерфейс;
- модуль протокола предназначен для анализа поступающих через последовательный порт команд и вызова соответствующих модулей обработки. Модуль протокола обеспечивает проверку поступающих команд и обеспечивает стабильную передачу команд и данных между плеером команд и контроллером;
- модуль «выхода» в нулевую точку обеспечивает позиционирование двигателей в предварительно заданное начальное (нулевое) положение во время включения контроллера, при получении соответствующей команды или в случае возникновения критической ситуации;
- модуль критической ситуации обеспечивает реагирование контроллера в случае включения кнопки «СТОП»

на платформе, отключении электропитания или срабатывании защитной функции приводов. Реагирование заключается в немедленном отправлении команды завершения с соответствующими кодами, описывающими ситуацию и обеспечении выхода платформы в начальное положение;

– модуль формирования управляющего сигнала непосредственно управляет тремя трехфазными асинхронными двигателями, приводящими платформу в движение, а также различными сигнальными приборами и индикаторами.

### 3 ФОРМИРОВАТЕЛЬ КОМАНД

Программа «Формирователь команд» выполняет весьма важную задачу: по требуемому положению платформы и закону движения рассчитывает положения трех подвижных элементов двигателей, а затем формирует программу на языке контроллера, обеспечивающую необходимое перемещение.

Программа позволяет также анализировать ранее сформированные последовательности команд для выявления недопустимых критических ситуаций, например, выход значения скорости или ускорения на каком-либо участке движения за пределы допустимой величины.

Интерфейс программы «Формирователь команд» показан на рис. 4.

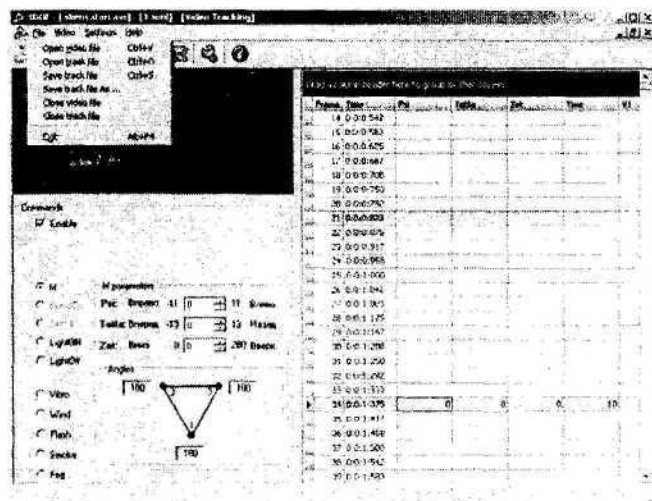


Рис. 4. Интерфейс программы «Формирователь команд»

Формирователь команд состоит из следующих программных модулей:

- модуль раскадровки на фреймы;
- модуль загрузки рабочей области платформы;
- модуль загрузки/выгрузки XML-файла;
- модуль решения обратной задачи кинематики;
- модуль расчета скорости вращения вала двигателя;
- модуль пользовательского интерфейса;
- модуль ошибок;
- модуль оптимизации сохраняемых результатов;
- модуль конфигурирования.

**Модуль раскадровки на фреймы** позволяет разбивать формируемую последовательность команд управления на отдельные блоки (фреймы). Это позволяет пользователю использовать ранее рассчитанные последовательности команд, обеспечивающие какие-либо предопределенные движения, например, разворот на 360 градусов.

**Модуль загрузки рабочей области платформы** предназначен для загрузки специального файла, описывающего рабочую область платформы, то есть область, в которой возможны пространственные движения. Фактически, файл рабочей области содержит информацию о граничных положениях платформы.

**Модуль загрузки/выгрузки XML-файла** предназначен для осуществления загрузки и выгрузки файлов со сформированными командами управления в программу. Для каждой команды в этом файле указывается временная метка, то есть момент времени, в который команда должна быть запущена на исполнение.

В качестве примера на рис. 5 приведен сгенерированный XML-файл, содержащий команды управления.

```
- <trackfile angle="20" movie="allensafari.avi" lastupdate="18.03.2009">
  <videodata fps="24" />
  <platformdata name="3dof_1427_222_140" />
  - <description>
    <begin />
    <s>0:0:0:000;00001;on</s>
    <m>0:0:0:542;00014;180;10;180;10;180;10;</m>
    <l-- 0:0:0: -->
    <m>0:0:0:583;00015;180;25;180;25;180;25;41</m>
    <l-- 0:0:0: -->
    <m>0:0:1:542;00038;219;65;219;65;219;65;959</m>
    <l-- 0:0:0: -->
    <m>0:0:2:208;00054;285;65;285;65;285;65;666</m>
    <l-- 150;0:0: -->
    <m>0:0:3:000;00073;360;65;360;65;360;65;792</m>
    <l-- 0:0:0:0: -->
    <m>0:0:4:083;00099;180;65;180;65;180;65;1083</m>
    <l-- 0:0:0: -->
    <m>0:0:4:875;00118;360;53;360;53;360;53;792</m>
    <l-- 0:0:0:0: -->
    <m>0:0:5:667;00137;180;53;180;53;180;53;792</m>
    <l-- 0:0:0: -->
    <end />
  </description>
</trackfile>
```

Рис. 5. Пример файла с командами управления

**Модуль решения обратной задачи кинематики** реализует алгоритм решения обратной задачи кинематики для рассматриваемого параллельного манипулятора, который построен на основе методов аналитической геометрии.

**Модуль ошибок** предназначен для проверки последовательности команд, введенных пользователем, на возможность выполнения в программе. В частности, проверяется состояние готовности контроллера и платформы во время выполнения команд, скорость валов асинхронных двигателей (максимальная и расчетная), возможность обработки команды в отведенное время.

**Модуль оптимизации сохраняемых результатов** предназначен для оптимизации последовательности команд управления. Оптимизация направлена на увеличе-

ние срока эксплуатации двигателей платформы, что достигается уменьшением количества реверсирований двигателей, уменьшением числа переходов валов двигателей через положения 0 и 180 градусов. Модуль оптимизации представлен в виде диалогового окна, где устанавливаются параметры оптимизации. Результатом работы модуля является оптимизированный XML-файл, содержащий команды управления.

**Модуль конфигурирования** является базовым модулем, определяющим параметры всех остальных модулей, и представляет собой диалоговое окно, которое вызывается через главное меню программы «Формирователь команд».

#### 4 ПЛЕЕР КОМАНД

Плеер команд предназначен для непосредственного управления аппаратными компонентами параллельного манипулятора и реализации движений трехкоординатной платформы.

Интерфейс программы «Плеер команд» показан на рис. 6.

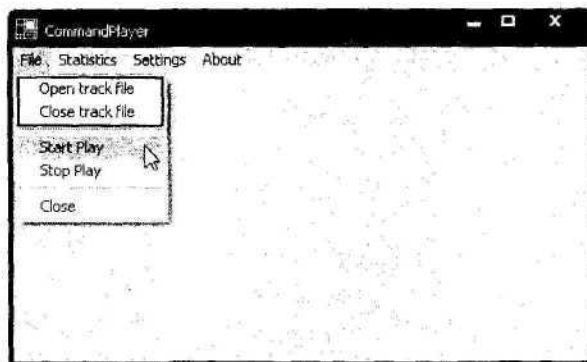


Рис. 6. Интерфейс программы «Плеер команд»

Плеер команд формирует требуемую команду в виде байтового кода и отправляет ее в контроллер через последовательный порт. По результатам выполнения команды контроллер отправляет в плеер команд байт подтверждения, в котором содержится информация о результатах выполнения команды. Подтверждение отправляется на все команды, кроме того, если требуется, после подтверждения команды передаются данные.

Программа «Плеер команд» состоит из следующих модулей:

- модуль ввода XML-файла;
- модуль проигрывания команд;
- модуль интерфейса связи с контроллером;
- модуль протокола;
- модуль информирования о чрезвычайной ситуации;
- модуль таймера.

**Модуль ввода XML-файла** предназначен для ввода команд управления параллельным механизмом, сформированного программой «Формирователь команд». Структура такого файла показана на примере, приведенном на рис. 5.

**Модуль проигрывания команд** предназначен для последовательного запуска команд управления на исполнение – отправку через интерфейс связи в контроллер платформы.

**Модуль интерфейса связи с контроллером** предназначен для установления соединения по последовательному интерфейсу RS232 с контроллером приводов параллельного манипулятора.

**Модуль протокола** предназначен для обеспечения диалога между плеером команд и контроллером платформы по установленному протоколу. Модуль выполняет следующие функции:

- формирует байтовые массивы команд;
- обрабатывает команды, полученные по последовательному интерфейсу;
- формирует коды ответов по установленному протоколу.

**Модуль таймера** обеспечивает дискретизацию времени в течение проигрывания файла команд, формирует и посылает сигналы о необходимости отправки новой команды. Кроме указанных функций, модуль таймера обеспечивает синхронизацию передачи данных в контроллер с состоянием внутреннего буфера команд.

**Модуль информирования о чрезвычайной ситуации** предназначен для информирования оператора о чрезвычайной ситуации, после которой проигрывание последовательности команд заканчивается.

**Модуль конфигурации** предназначен для настройки параметров других модулей, например, задания скорости передачи данных в контроллер для интерфейса связи. В пользовательском интерфейсе модуль представлен соответствующим диалоговым окном, вызываемым по команде из главного меню.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карпович, С. Е. Программируемые движения в прецизионных системах перемещений / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк. – Минск : ФУАинформ, 2008. – 206 с.
- [2] Карпович, С. Е. Имитационное моделирование автономных и мобильных автоматических систем / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк. – Минск : Белпринт, 2008. – 212 с.